

# ТЕРАПЕВТИЧНА СТОМАТОЛОГІЯ

УДК 616.314-083.27-17:620.179.17

*Кухта В.С., Кирманов О.С.*

## СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ МІЦНОСТІ СТОМАТОЛОГІЧНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ РЕСТАВРАЦІЇ ЗУБІВ

Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, Львів, Україна

### Актуальність

Проблема пошуку ідеального пломбувального матеріалу досі повністю не розв'язана, що підтверджує велика кількість нових розробок у матеріалознавстві. Водночас усе більше в клінічному використанні утворюються композитні полімери. Нова концепція адгезивної підготовки тканин зуба перед пломбуванням і вдосконалення властивостей композитних матеріалів сприяють максимальному збереженню здорових тканин зуба, підвищенню естетичності, довговічності й функціональності реставрацій. Асортимент композитних матеріалів, представлених на стоматологічному ринку, дуже широкий [1–4]. Вони значно відрізняються фізичними, хімічними, робочими властивостями, технікою використання, що вимагає певної підготовки стоматолога для ефективної роботи з ними. Оптимальний вибір матеріалу й методики роботи з ним залежно від клінічної ситуації сприятиме підвищенню довговічності реставрацій і запобіганню розвитку ускладнень.

### Мета дослідження

Провести аналіз джерел наукометричної інформації щодо стану досліджень міцності стоматологічних композитів для реставрації зубів.

### Результати

На фізико-механічні властивості стоматологічних композитів впливає низка чинників, зокрема тип полімерної матриці, кількість, розмір і розподіл наповнювача, стан зв'язку між наповнювачем і матрицею, ступінь полімеризації [5-7]. Вибір того чи іншого матеріалу визначається сукупністю характеристик, які залежать від комбінації основних компонентів. Змінити параметри, закладені виробником, неможливо, але їх знання допоможе вибрати найоптимальніший матеріал у кожній клінічній ситуації.

До основних фізичних властивостей стоматологічних композитів належать міцність на

стиск і розтяг, модуль пружності, коефіцієнт термічного розширення, стійкість до зносу, полімеризаційна усадка, рентгеноконтрастність, густина й тиксотропність, оптичні ефекти (прозорість, флюоресценція тощо).

У крихких полімерних композитах під час шліфування й полірування, які виконують для естетичного відновлення, утворюються мікроскопічні дефекти поверхні, що сприяють прискоренню поверхневого зносу реставрації. За літературними даними [6], термін служби стоматологічних композитів насамперед залежить від явищ поверхневого зносу, і ці процеси мають тісний зв'язок із в'язкістю руйнування.

*Дослідження міцності на згин і модуля пружності стоматологічних композитів.* У праці [5] представлено результати лабораторних досліджень 72 комерційних композитів восьми категорій. Зразки витримували у воді протягом 24 год. за температури 37°C. Визначали міцність на згин, модуль пружності, діаметральну міцність на розтяг і міцність на стиск. Установили, що найвищий модуль пружності мають гібридні, наногібридні й упаковані на основі ормокеру композити. Найнижчі механічні властивості мають мікронаповнені гібридні композити.

Вплив на міцнісні характеристики (модуль пружності, міцність на згин, контактна втомна міцність і мікротвердість) типу матриці композиту, неорганічного наповнювача і його кількості, а також розміру його частинок вивчали у праці [8]. Порівнювали п'ять комерційно доступних композитних відновних матеріалів. Установили, що композит із наповнювачем із найбільшими частинками (2 мкм) має гірші механічні характеристики.

Міцність на стиск і згин гібридного композиту («Filtek Z250») і традиційних матеріалів («Amalgam», «Vitremmer GIC» і «Fluorocore») досліджували у праці [9]. Виявили, що «Fluorocore» мав найвищу міцність на стиск і на згин, після нього нанокompозит «Filtek Z250». «Amalgam» мав

найменшу міцність на згин, а «Vitrem» – найменшу міцність на стиск. Для відновлення сильно ушкоджених зубів автори рекомендували надавати перевагу полімеру «Fluorocore» або нанокомпозиту «Filtek Z250».

У праці [10] порівнювали механічні властивості (міцність на згин і діаметральний стиск) за різної витримки (24 год., 15, 30, 60 і 90 днів) трьох стоматологічних композитів («Competence universal», «Spectrum», «Bright light») у різних середовищах (дистильована вода, штучна слина, етанол/вода і рідина для полоскання ротової порожнини). Установили, що час експозиції й середовище впливають на міцність на згин, модуль зсуву й діаметральну міцність, при цьому найбільше знижує ці параметри занурення в середовище етанол/вода. Найвищі механічні показники мав композит «Competence universal», а найнижчі – «Bright light».

Із метою встановлення зв'язку між міцністю на згин і діаметральною міцністю в праці [11] досліджували чотири мікрогібридні композити («Filtek Z250», «AM-Amelogen», «VE-Vit-Iescence», «EX-Esthet-X»). Перед випробуваннями зразки витримували в дистильованій воді протягом 24 год. за температури 37°C. За результатами досліджень для ефективного відновлення зубів рекомендовано використовувати композити «Filtek Z250» і «EX-Esthet-X».

Структуру інтерфейсу й міцність модельних стоматологічних композитів досліджували в праці [12]. Оскільки у випробуваннях триточковим згином дефекти поверхні мають сильніший вплив, ніж об'ємні дефекти, то автори рекомендували для зменшення похибки вимірювання міцності ретельно підготувати зразки, відполірувавши перед експериментами їхню поверхню.

Гібридні стоматологічні композити («Z250», TRN, «Prodigy»), які використовують для реставрації задніх зубів, досліджували в праці [13]. Вивчали вплив на міцність на згин підвищеної відносної вологості й температури, що імітують внутрішньоротові умови навколишнього середовища. Установили, що підвищена температура й вологість не впливають суттєво на міцність на згин і модуль пружності трьох досліджених комерційних композитів.

Зносостійкість, в'язкість руйнування й міцність на згин наноаповненого («Filtek Supreme») і звичайного гібридного композитів («Prime-Dent») оцінювали в праці [14]. Установили, що наноаповнений композит мав вищу зносостійкість, ніж гібридний. За міцністю на згин і в'язкістю руйнування матеріали суттєво не відрізнялись, хоча наноаповнений композит характеризується більшою твердістю.

У праці [15] порівнювали статичну й циклічну міцність на згин композитів різних типів (наногібридні («Z100», «Filtek Z350», «Synergy D6», «Nexcomp»), мікронаповнені («Metalfil CX», «Surefil», «Tetric-N Ceram», «Sonicfill»). Виявили, що хоча гранична міцність під час втомних досліджень зменшується на 80% порівняно зі ста-

тичними навантаженнями, циклічну втомну міцність на згин можна оцінити за статичними параметрами на згин (міцність на згин і модуль пружності).

Міцність на згин і модуль пружності належать до базових параметрів оцінки міцності матеріалів під час розроблення нових сучасних композитів [16–20].

*Використання явища акустичної емісії в дослідженні руйнування стоматологічних композитів.* Метод АЕ, який ґрунтується на реєстрації пружних хвиль, що виникають унаслідок формування, зміни й руйнування структури різних матеріалів, на сьогодні є найефективнішим для вивчення процесів і стадій розвитку дефектності їхньої структури [21]. Він може виявити зародження руйнування, початкове розташування дефектів, їх поширення, точно встановити максимальну міцність матеріалу й виявити механізми руйнування. Переваги методу – можливість отримання інформації про руйнування вже на ранніх стадіях, а також його висока чутливість, оскільки дає змогу виявляти навіть невеликі дефекти.

Метод АЕ зазвичай використовували для вивчення стійкості до руйнування різних композитних матеріалів [22], дослідження інтерфейсу зуб/композит [23–29], аналізу полімеризаційних напружень і ступеня усадки [30–35].

Невелика кількість публікацій присвячена вивченню процесів зародження й розвитку руйнування в стоматологічних композитах під час навантаження згину. Зокрема, три типи стоматологічних композитів (мікро- і мікронаповнені, гібридні) вивчали в працях [36; 37], використовуючи метод АЕ. Визначали міцність на згин і в'язкість руйнування за триточкового згину. Під час руйнування композитів виявили три характерні типи сигналів АЕ. За значеннями міцності, особливостями генерування АЕ й вивчення характеру поверхні руйнування побудували мікроскопічну модель руйнування таких композитів. На її основі, використовуючи деформаційний критерій, обчислювали в'язкість руйнування матеріалів.

## Висновки

Міцнісні характеристики композитних матеріалів для реставрації зубів відіграють важливу роль у довготривалості збереження їхньої якості в процесі оклюзійного навантаження. Важливим є саме вивчення процесів зародження й розвитку процесів руйнування стоматологічних композитів під час навантаження на згин.

## Список літератури

1. Yadav R, Kumar M. Dental restorative composite materials: A review. *Journal of Oral Biosciences*. 2019;61(2):78-83.
2. Ravi RK, Alla RK, Shammam M, Devarhulbi A. Dental composites - a versatile restorative material: A review. *Indian Journal of Dental Sciences*. 2013;111-5.

3. Zhou X, Huang X, Li M, Peng X, Wang S, Zhou X, et al. Development and status of resin composite as dental restorative materials. *J Appl Polym Sci* [Internet]. 2019;136(44):48180. Available from: <http://dx.doi.org/10.1002/app.48180>
4. Riva YR, Rachman SF. Dental composite resin: A review. *AIP Conference Proceedings*. 2019.
5. Ilie N, Hickel R. Investigations on mechanical behaviour of dental composites. *Clin Oral Invest*. 2009;13(4):427-38.
6. Kim Y-H, Park J-H. Fracture toughness and acoustic emission behaviour of dental composite resins. *Engineering Fracture Mechanics*. 1991;40(4-5):811-9.
7. Koji Higuchi MY. Successful induction of pluripotent stem cells from a Fabry disease mouse model: Toward the development of safe Lentiviral gene therapy. *J Stem Cell Res Ther*. 2015;5(1):259.
8. Antunes PV, Ramalho A. Mechanical characterization of dental restorative composite materials. In *Materials Science Forum 2004* (Vol. 455, pp. 393-397). Trans Tech Publications Ltd.
9. Jayanthi N, Vinod V. Comparative evaluation of compressive strength and flexural strength of conventional core materials with nanohybrid composite resin core material an in vitro study. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*. 2013;13(3):281-9.
10. Al Badr RM, Hassan HA. Effect of immersion in different media on the mechanical properties of dental composite resins. *Int. J. Appl. Dent. Sci*. 2017;3:81-8.
11. Della Bona Á, Benetti P, Borba M, Cecchetti D. Flexural and diametral tensile strength of composite resins. *Brazilian oral research*. 2008;22(1):84-9.
12. Nielsen MS. Interface structure and strength in model dental resin composites (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis, Denmark: DTU Nanotech, Technical University of Denmark).
13. Walker MP, Haj-Ali R, Wang Y, Hunziker D, Williams KB. Influence of environmental conditions on dental composite flexural properties. *Dental materials*. 2006;22(11):1002-7.
14. Hamouda IM, Abd Elkader H. Evaluation the mechanical properties of nanofilled composite resin restorative material. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 2012;238-42.
15. Im YW, Lee SH, Lee JW, Lee HH. Static and cyclic flexural strength of various dental composite resins. *Dental Materials*. 2016;1(32):e37-8.
16. Tanaka CB, Lopes DP, Kikuchi LN, Moreira MS, Catalani LH, Braga RR, Kruzic JJ, Gonçalves F. Development of novel dental restorative composites with dibasic calcium phosphate loaded chitosan fillers. *Dental Materials*. 2020;36(4):551-9.
17. González-López JA, Pérez-Mondragón AA, Cuevas-Suárez CE, González SC, Herrera-González AM. Dental composite resins with low polymerization stress based on a new allyl carbonate monomer. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2020 Oct 1;110:103955.
18. Yang DL, Sun Q, Niu H, Wang RL, Wang D, Wang JX. The properties of dental resin composites reinforced with silica colloidal nanoparticle clusters: Effects of heat treatment and filler composition. *Composites Part B: Engineering*. 2020;186:107791.
19. Carrillo-Cotto R, da Silva AF, Isolan CP, Selayaran RP, Selayaran M, Lima FG, Münchow EA. Effects of alternatively used thermal treatments on the mechanical and fracture behavior of dental resin composites with varying filler content. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2021;117:104424.
20. Boussès Y, Brulat-Bouchard N, Bouchard PO, Abouelleil H, Tillier Y. Theoretical prediction of dental composites yield stress and flexural modulus based on filler volume ratio. *Dental Materials*. 2020 Jan 1;36(1):97-107.
21. Zinoviiv. Skalskyi Nazarchuk (valentyn. Serhiyenko, oleh.). acoustic emission: Methodology and Application. SPRINGER; 2019.
22. Ereifej NS, Oweis YG, Altarawneh SK. Fracture of fiber-reinforced composites analyzed via acoustic emission. *Dental Materials Journal*. 2015;34(4):417-24.
23. Carrera CA, Chen YC, Li Y, Rudney J, Aparicio C, Fok A. Dentin-composite bond strength measurement using the Brazilian disk test. *Journal of dentistry*. 2016;52:37-44.
24. Cho NY, Ferracane JL, Lee IB. Acoustic emission analysis of tooth-composite interfacial debonding. *Journal of dental research*. 2013;92(1):76-81.
25. Cho NY. Time domain analysis of de-bonding of composite -tooth interface using acoustic emission. 24th American Dental Research & Future Dentistry & 3rd Annual Meeting on Pedodontics and Geriatric Dentistry.
26. Liu X, Li H, Li J, Lu P, Fok AS. An acoustic emission study on interfacial debonding in composite restorations. *dental materials*. 2011;27(9):934-41.
27. Van Ende A, Lise DP, De Munck J, Vanhulst J, Wevers M, Van Meerbeek B. Strain development in bulk-filled cavities of different depths characterized using a non-destructive acoustic emission approach. *Dent Mater*. 2017;33(4):e165-77.
28. Yang B, Guo J, Huang Q, Heo Y, Fok A, Wang Y. Acoustic properties of interfacial debonding and their relationship with shrinkage stress in Class-I restorations. *Dental Materials*. 2016;32(6):742-8.
29. Li H, Li J, Liu X, Fok A. Non-Destructive Examination of Interfacial Debonding in Dental Composite Restorations Using Acoustic Emission. In *Composites and Their Applications 2012 Aug 22*. IntechOpen.
30. Kim RJ, Kim YJ, Choi NS, Lee IB. Polymerization shrinkage, modulus, and shrinkage stress related to tooth-restoration interfacial debonding in bulk-fill composites. *Journal of dentistry*. 2015;43(4):430-9.
31. Braga RR, Boaro LC, Kuroe T, Azevedo CL, Singer JM. Influence of cavity dimensions and their derivatives (volume and 'C'factor) on shrinkage stress development and microleakage of composite restorations. *Dental materials*. 2006;22(9):818-23.
32. Watts DC, Satterthwaite JD. Axial shrinkage-stress depends upon both C-factor and composite mass. *Dental Materials*. 2008;24(1):1-8.
33. Park JH, Gu JU, Choi NS. Acoustic emission characteristics of methacrylate-based composite and silorane-based composite during dental restoration according to a variety of C-factor. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2017;31(9):4067-72.

34. Gu JU, Choi NS, Arakawa K. Time-based characteristics of acoustic emission during dental composite restoration. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A. 2011;35(2):169-74.
35. Erhardt MC, Goulart M, Jacques RC, Rodrigues JA, Pfeifer CS. Effect of different composite modulation protocols on the conversion and polymerization stress profile of bulk-filled resin restorations. Dental Materials. 2020;36(7):829-37.
36. Kim KH, Park JH, Imai Y, Kishi T. Fracture toughness and acoustic emission behavior of dental composite resins. Engineering fracture mechanics. 1991;40(4-5):811-9.
37. Kim KH, Park JH, Imai Y, Kishi T. Fracture behavior of dental composite resins. Bio-Medical Materials and Engineering. 1991;1(1):45-57.

**Стаття надійшла  
17.03.2022 р.**

### Резюме

**Мета дослідження.** Провести аналіз джерел наукометричної інформації щодо стану досліджень міцності стоматологічних композитів для реставрації зубів.

Визначено, що асортимент композитних матеріалів, представлених на стоматологічному ринку, дуже широкий. Вони значно відрізняються фізичними, хімічними, робочими властивостями, технікою використання, що вимагає певної підготовки стоматолога для ефективної роботи з ними. Оптимальний вибір матеріалу й методики роботи з ним залежно від клінічної ситуації сприятиме підвищенню довговічності реставрацій і запобіганню розвитку ускладнень і значною мірою залежить від їхніх міцнісних характеристик.

Проблема пошуку ідеального пломбувального матеріалу досі повністю не розв'язана, що підтверджує велика кількість нових розробок у матеріалознавстві. Водночас усе більше в клінічному використанні утворюються композитні полімери. Нова концепція адгезивної підготовки тканин зуба перед пломбуванням і вдосконалення властивостей композитних матеріалів сприяють максимальному збереженню здорових тканин зуба, підвищенню естетичності, довговічності й функціональності реставрацій. Асортимент композитних матеріалів, представлених на стоматологічному ринку, дуже широкий. Вони значно відрізняються фізичними, хімічними, робочими властивостями, технікою використання, що вимагає певної підготовки стоматолога для ефективної роботи з ними. Оптимальний вибір матеріалу й методики роботи з ним залежно від клінічної ситуації сприятиме підвищенню довговічності реставрацій і запобіганню розвитку ускладнень.

Визначено, що саме міцнісні характеристики композитних матеріалів для реставрації зубів відіграють важливу роль у довготривалості збереження їхньої якості в процесі оклюзійного навантаження. Важливим є саме вивчення процесів зародження й розвитку процесів руйнування стоматологічних композитів під час навантаження на згин.

**Ключові слова:** композитні матеріали для пломбування зубів, міцність.

UDC 616.314-083.27-17:620.179.17

## THE EVALUATION OF CURRENT RESEARCH ON THE STRENGTH OF DENTAL RESTORATIVE COMPOSITE MATERIALS

**Kukhta V.S., Kyrmanov O.S.**

Danylo Halytskyi Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine

### Summary

**The aim of the study:** to analyze the sources of scientific and metric information on the state of research on the strength of dental composites for tooth restoration.

It has been determined that the range of composite materials available on the dental market is very wide. They differ significantly in chemical, mechanical, physical, and biological characteristics, operating properties, techniques of their usage. All this requires special training to use the composites effectively and to get high quality restoration results. The optimal choice of material and suitable technique taking into account a particular clinical situation can increase the durability of restorations and prevent the development of complications that largely depends on the strength characteristics of composites.

At present, the problem of selecting and creating the perfect filling material has not been completely solved that is confirmed by the large number of new developments in materials science. At the same time, composite polymers are gaining ground in dental practice. The new concept of adhesive preparation of dental tissues before inserting filling material and improving the properties of the composite materials themselves contribute to the maximum preservation of healthy dental tissues, increase the aesthetics, durability and functionality of dental restorations.

It has been determined that the mechanical strength characteristics of composite materials play a significant role in the longevity/durability of restorations depending on different chewing force and occlusal loading. It is important to investigate factors, which may cause the destruction of dental composites during the functional loading.

The physical and mechanical properties of dental composites are impacted by a number of factors, including the type of polymer matrix, the amount of material takes, size and distribution of the filler, the state of the bond between the filler and the matrix, the degree of polymerization. The choice of a material also depends on a number of characteristics in terms of the combination of main components. Since the material parameters set by the material manufacturers can not be changes, the deep understanding of its properties will help to choose the best material in each clinical situation.

The main physical properties of dental composites include compressive and tensile strength, modulus of elasticity, coefficient of thermal expansion, wear resistance, polymerization shrinkage, X-ray contrast, density and thixotropy, optical effects (transparency, fluorescence, etc.).

The AE method based on the registration of elastic waves arising from the formation, change and destruction of the structure of various materials, is currently the most effective for studying the processes and stages of development of material defects. It enables in detecting initial changes in the material structure, the initial location of defects, the direction of their spreading and determining the maximum strength of the material. The advantages of this method include the ability to obtain information about the destruction in the early stages, its high accuracy and sensitivities.

The AE method is commonly used to study the resistance to destruction of various composite materials, the study of the tooth / composite interface, the analysis of polymerization stresses and the degree of shrinkage.

**Key words:** composite materials for dental fillings, strength.